

SIMULACE A ŘÍZENÍ PNEUMATICKÉHO SERVOPOHONU POMOCÍ PROGRAMU MATLAB – SIMULINK

Petr NOSKIEVIČ
Petr JÁNIŠ

Katedra automatizační techniky a řízení
Fakulta strojní
VŠB-TU Ostrava

Abstrakt

Příspěvek popisuje sestavení matematického modelu pneumatického servopohonu a jeho realizaci v programu MATLAB – Simulink. Jsou modelovány základní prvky pohonu – pneumatický válec a pneumatický servoventil umožňující plynulou regulaci hmotnostního toku vzduchu. MATLAB - Simulink rozšířený o Real Time Toolbox byl rovněž použit pro řízení laboratorního pneumatického servopohonu. Jsou prezentované sestavené simulační modely a průběhy polohy a rychlosti pístu získané simulací a měřením.

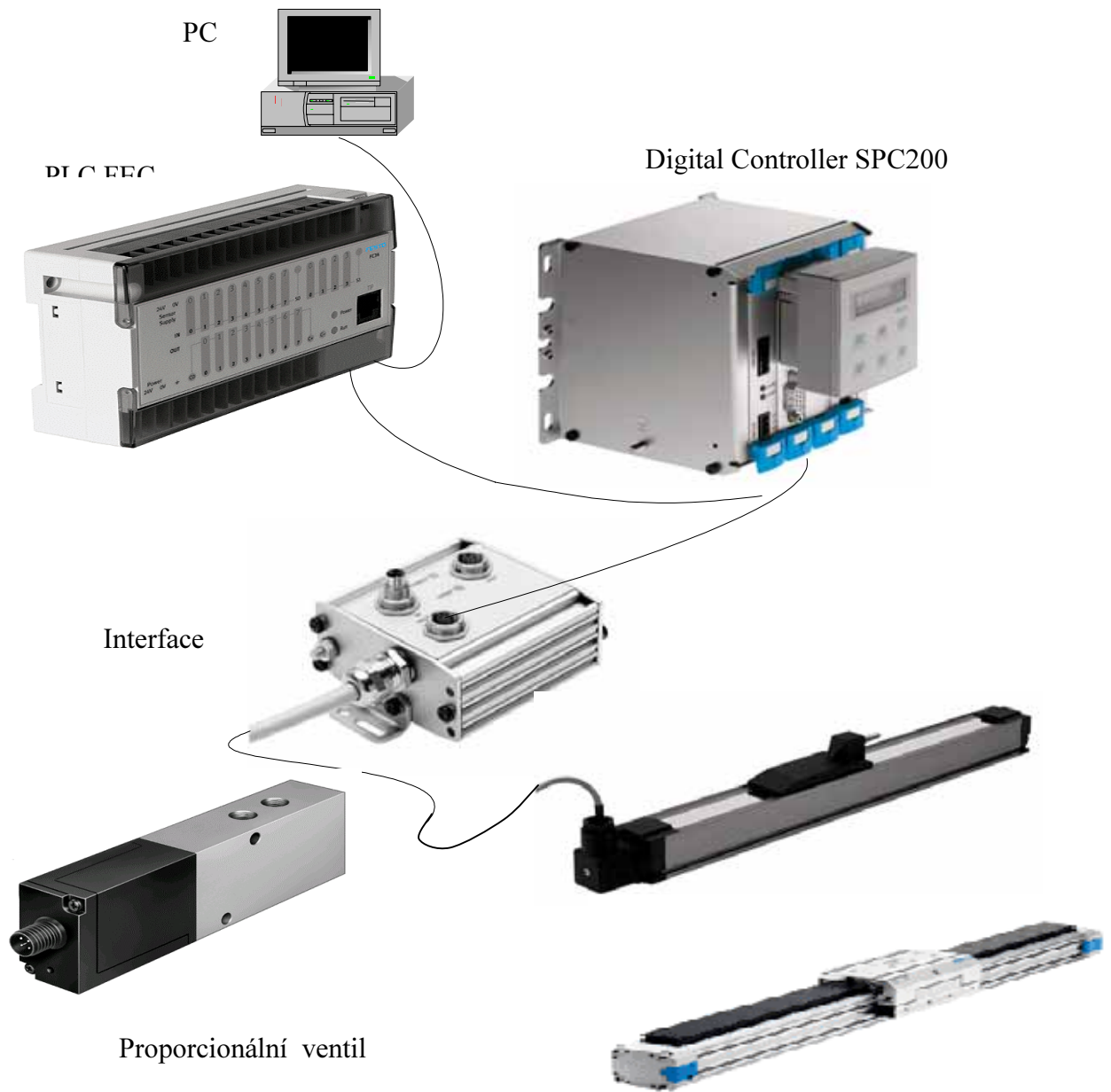
1. Úvod

Pneumatické pohony jsou často používané pohony v různých manipulačních a výrobních zařízeních. Současná prvková základna umožňuje realizovat i pohony se spojitým řízením rychlosti pístu a realizovat tak pneumatické servomechanismy. Základním prvkem pneumatického servomechanismu je vedle pneumatického válce pneumatický servoventil, resp. ventil umožňující spojitě řízení hmotnostního toku vzduchu do pracovních prostorů pneumatického válce. Návrh zpětnovazebního řízení pneumatického servopohonu s požadovanou dynamikou, přesností polohování a kvalitou pohybu není snadnou záležitostí a neobejde se bez dynamické analýzy pohonu, sestavení jeho matematického a simulačního modelu a provedení simulačních experimentů. Shrnutí postupu odvození matematického modelu pneumatického servopohonu včetně jeho realizace v simulačním programu MATLAB – Simulink a následně řízení laboratorního pneumatického servopohonu pomocí Real Time Toolboxu a multifunkční karty AD512 je popsáno v příspěvku.

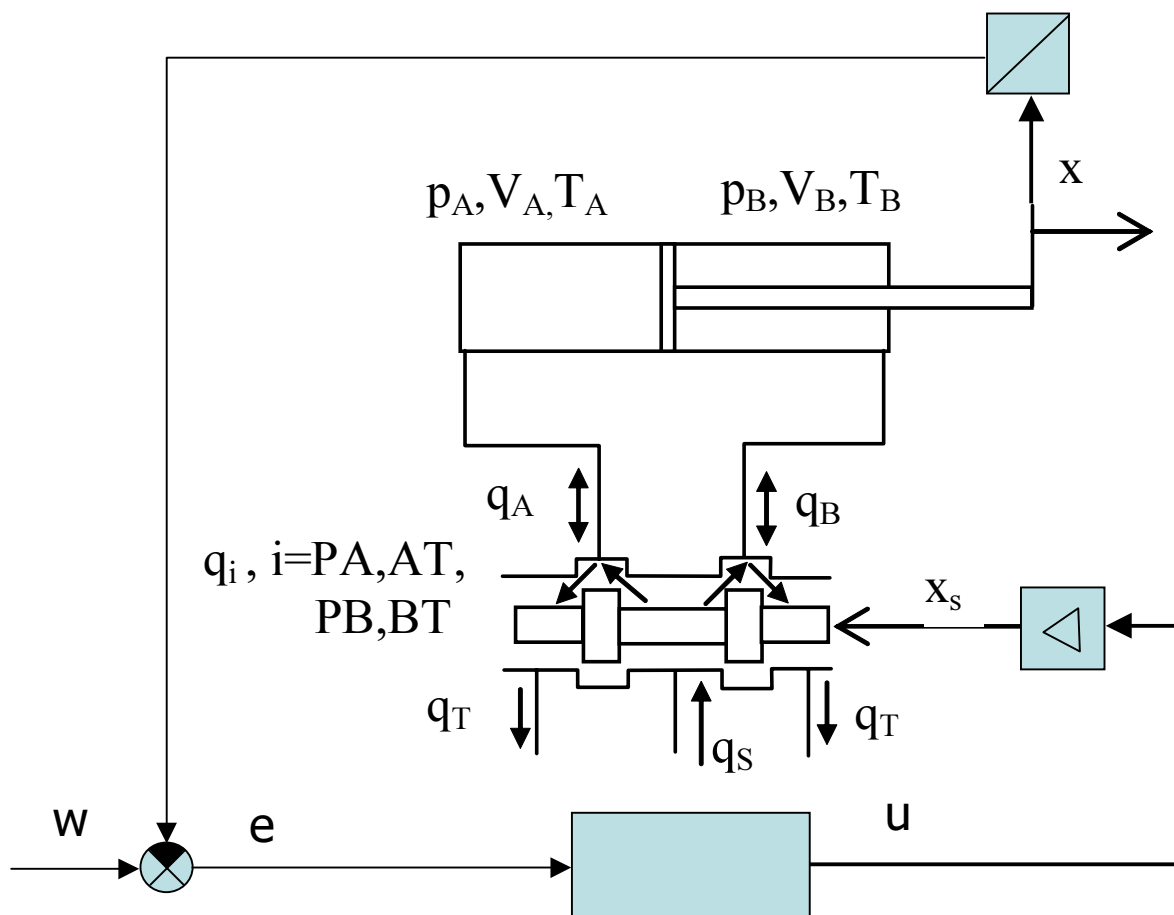
2. Pneumatický servopohon

Základní pneumatické prvky použité pro sestavení laboratorního servopohonu ukazuje obr.1, blokové schéma simulovaného systému s vyznačením základních systémových veličin je na obr.2. Sestavení simulačního modelu pneumatického servopohonu vychází z popisu vlastností jeho prvků pomocí fyzikálních zákonů popisujících přenos energie v mechanické a tekutinové části. Pro názornější přiblížení sestavení simulačních modelů a vlastností pneumatického servopohonu jsou v následující části shrnuty vztahy popisující přímočarý pneumatický válec řízený ventilem pro spojitě řízení hmotnostního toku vzduchu. [1,2,3,4].

Obr.2 ukazuje základní uspořádání prvků a popis veličin – polohy x a rychlosti v pístnice, tlaků p_A, p_B v pracovních prostorech válce a hmotnostních toků vzduchu q . Další stavovou proměnnou pneumatického pohonu je teplota vzduchu T_A, T_B, T_0 . Poloha šoupátka ventilu je x_s .



Obr. 1 Prvky pneumatického servopohonu

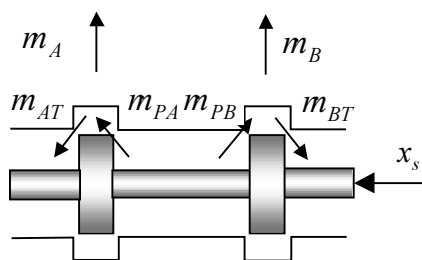


Obr. 2 Blokové schéma pneumatického servopohonu s vyznačením proměnných

3. Pneumatický servoventil

Poloha šoupátka řídicího ventilu je řízena pomocí elektromechanického převodníku a výslednou dynamiku otevření ventilu lze dostatečně přesně popsat pomocí proporcionálního členu se setrvačností druhého řádu, jehož charakteristické hodnoty se určí z katalogových údajů. Vlastní frekvence se odečte z frekvenční charakteristiky, obdobně lze stanovit i hodnotu součinitele poměrného tlumení $\xi \cong 0,9$, jelikož ventily jsou zpravidla dobře tlumené systémy s aperiodickým průběhem odezvy. Poloha šoupátka je modelována v závislosti na řídicím napětí u pomocí diferenciální rovnice 2.řádu

$$T_{sv}^2 \ddot{x}_s + 2\xi_{sv} T_{sv} \dot{x}_s + x_s = K_{sv} u . \quad (1)$$



Obr.3 Šoupátko pneumatického servoventilu a hmotnostní toky přes řídicí hrany

Velikost hmotnostních toků přes řídicí hrany ventilu, ze kterých se určí výsledný tok do prostoru pneumatického válce a do okolí, se určí pomocí modelování toku plynu přes trysku. Pomocí Bernoulliho rovnice vyjádřené v diferenciálním tvaru se určí výtoková rychlost stlačitelného vzduchu při uvažování adiabatické změny stavu. Hmotnostní toky přes řídicí hrany ventilu se určí obecně podle vztahu

$$\dot{m}_{ij} = c_0 S(x_s) p_i \sqrt{\frac{2}{RT_i}} \sqrt{\frac{\kappa}{\kappa-1} \left[\left(\frac{p_j}{p_i} \right)^{2/\kappa} - \left(\frac{p_j}{p_i} \right)^{\kappa+1/\kappa} \right]}, \text{ pro } ij = PA, AT, PB, BT \quad (2)$$

(i - prostor odkud proudí vzduch s vyšším tlakem, j - prostor kam proudí vzduch s nižším tlakem), $p_i \geq p_j$. Hmotnostní tok závisí na tlaku p_i a na poměru tlaků $\frac{p_j}{p_i}$. Čím větší je

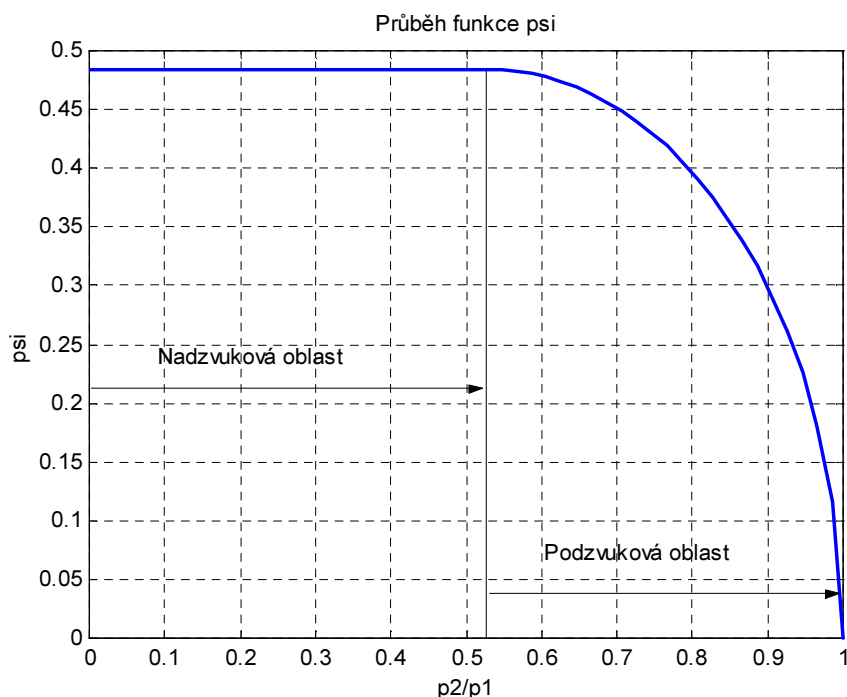
rozdíl tlaků před a za průtočným průřezem $\Delta p_{ij} = p_i - p_j$, tedy menší poměr $\frac{p_j}{p_i}$, tím vyšší je

hmotnostní průtok. Zvyšování průtoku však není lineárně závislé, je určeno nelineární funkcí $\psi = \psi\left(\frac{p_j}{p_i}\right)$, jejíž hodnota je do kritického poměru tlaků $b = \left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\kappa-1}$ určena vztahem

$$\psi = \sqrt{\frac{\kappa}{\kappa-1} \left[\left(\frac{p_j}{p_i} \right)^{2/\kappa} - \left(\frac{p_j}{p_i} \right)^{\kappa+1/\kappa} \right]} \quad (3)$$

a dále je rovna maximu dosaženému pro kritický poměr b .

$$\dot{m}_{ij} = c_0 S(x_s) p_i \sqrt{\frac{2}{RT_i}} \cdot \psi\left(\frac{p_j}{p_i}\right) \quad (4)$$

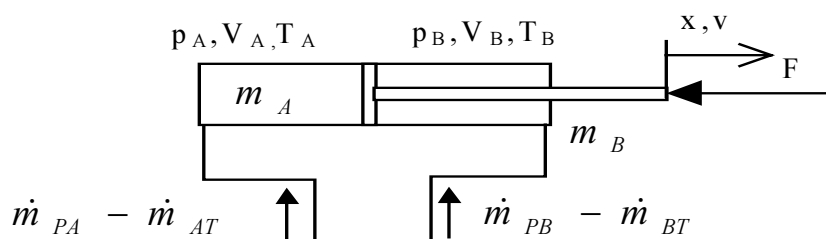


Obr.4 Průběh funkce $\psi = \psi\left(\frac{p_j}{p_i}\right)$.

4. Pneumatický válec

Matematický model pneumatického válce obr.15 vychází z pohybové rovnice pro píst

$$m\ddot{x} + b\dot{x} = S_A p_A - S_B p_B - F. \quad (5)$$



Obr.5 Pneumatický válec

Síla F zahrnuje zatěžující sílu a sílu suchého tření.

Tlaky v pracovních prostorech se určí z diferenciálních rovnic, které byly odvozeny za předpokladu adiabatické změny stavu

$$\dot{p}_A = \frac{\kappa}{V_A} [R(T_0 \dot{m}_{Ain} - T_A \dot{m}_{Aout}) - p_A S_A v] \quad (6)$$

$$\dot{p}_B = \frac{\kappa}{V_B} [R(T_0 \dot{m}_{Bin} - T_B \dot{m}_{Bout}) + p_B S_B v] \quad (7)$$

κ je adiabatická konstanta, R je univerzální plynová konstanta.

Hmotnosti vzduchu v pracovních prostorech motoru se určí integrací hmotnostních toků

$$m_A(t) = \int_0^t (\dot{m}_{Ain} - \dot{m}_{Aout}) d\tau + m_A(0), \quad (8)$$

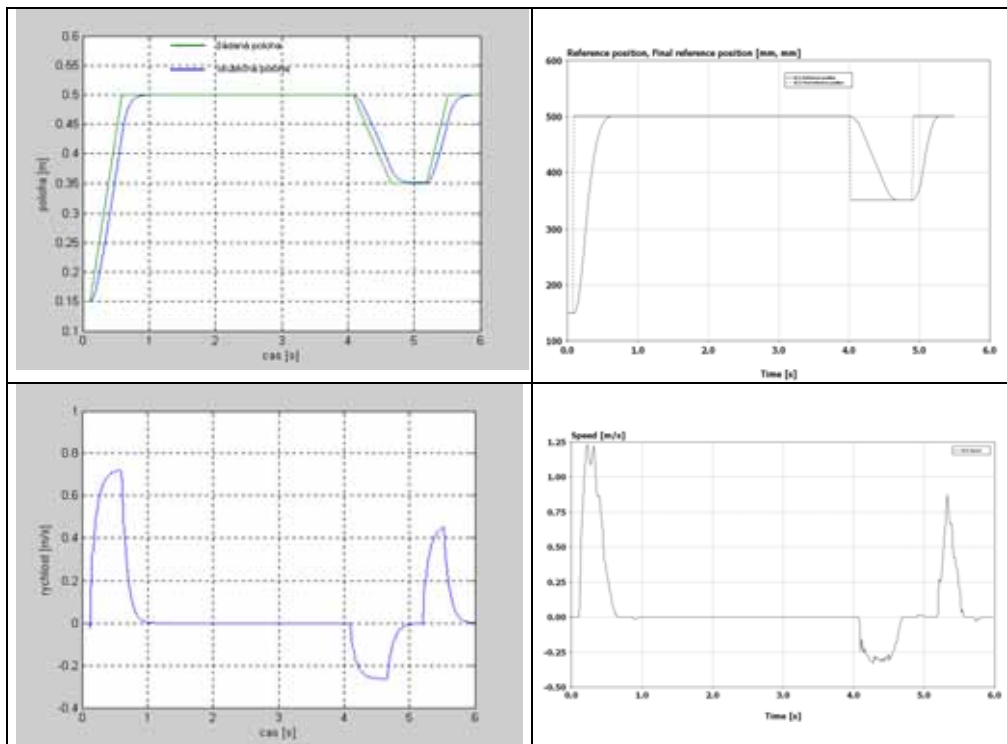
$$m_B(t) = \int_0^t (\dot{m}_{Bin} - \dot{m}_{Bout}) d\tau + m_B(0) \quad (9)$$

Teplota vzduchu se vypočítá za předpokladu adiabatické změny stavu plynu pomocí vztahu

$$T_{A,B} = T_{0,A,B} \left(\frac{p_{0,A,B}}{p_{A,B}} \right)^{\frac{1-\kappa}{\kappa}}. \quad (10)$$

5. Použití programu MATLAB – Simulink

Pomocí uvedených vztahů byly sestaveny v programu MATLAB – Simulink simulační modely základních prvků pohonu a s využitím techniky subsystému lze na obr.6 zobrazit simulační model pneumatického servopohonu [7]. Obr. 7 ukazuje simulační model pneumatického servoventilu a obr.8 simulační model pneumatického válce. Měření stavových veličin, regulace polohy a generování akční veličiny pomocí Real Time Toolboxu přibližuje blokové schéma na obr. 9. Na obr. 10 jsou ukázány průběhy polohy a rychlosti pístu získané simulací a měřením na reálném servopohonu.



Obr.10 Simulované (vlevo) a měřené (vpravo) průběhy polohy pístu (nahore) a rychlosti (dole) pneumatického servopohonu [5]

6. Závěr

V příspěvku je popsáno sestavení matematického a simulačního modelu pneumatického servopohonu v prostředí programu MATLAB – Simulink. S pomocí multifunkční karty AD512 a Real Time Toolboxu bylo provedeno řízení polohy laboratorního servopohonu.

Prezentované průběhy získané simulací a řízením reálného pohonu ukazují na dobrou shodu mezi modelem a měřeným průběhem.

Literatura

- [1] NOSKIEVIČ, P. Modelování a identifikace systémů. (Modeling and identification. In Czech.) 1. vyd. Ostrava. MONTANEX, a. s., 1999. 276 s. ISBN 80-7225-030-2.
- [2] MARÉ, J.-C., GEIDER, O. A COLIN, S. 2000. An improved dynamic model of pneumatic actuators. International Journal of Fluid Power. Vol. 1, No. 2, p. 39-47. ISSN1439-9776.
- [3] VIRVALO, T., 1999. Nonlinear model of pneumatic servo valves. In Proceedings The Sixth Scandinavian International Conference on Fluid Power, May 26-28, Tampere, Finsko, p. 743-757. ISBN 952-15-1081-2.
- [4] GÖLLNER, E. 1995. Dynamisches Verhalten eines pulsbreitenmodulierten, elektropneumatischen Stellantriebs. Ölhydraulik und Pneumatik, Vol. 39, No. 3, p. 202-207. ISSN 0341-2660.
- [5] JÁNIŠ, P. Řízení mechatronických systémů. (Control of Mechatronic Systems. In Czech). Diploma theses. VŠB-Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, 2004.

Kontakt

Prof. Ing. Petr Noskievič, CSc.

petr.noskievic@vsb.cz

Ing. Petr Jániš

Katedra automatizační techniky a řízení, Fakulta strojní, VŠB-TU Ostrava

17. listopadu 15, 708 33 Ostrava - Poruba